

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-320652
(43)Date of publication of application : 16.11.2001

(51)Int.CI.

H04N 5/74
G01B 11/24
G03B 21/00
H04N 7/18

(21)Application number : 2000-139002

(71)Applicant : NEC CORP

(22)Date of filing : 11.05.2000

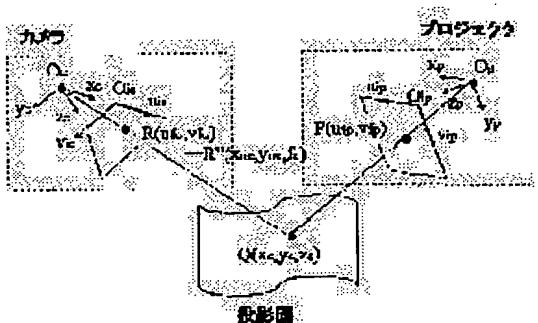
(72)Inventor : NINO YUICHI

(54) PROJECTOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projector that projects an image onto an optionally three-dimensionally shaped projecting screen and can obtain an output video image without distortion.

SOLUTION: A camera photographs a point Q on a projection screen corresponding to a measurement point P in a video image outputted from the projector and a point R corresponding to the point Q is detected from an obtained camera image. Then using a camera internal parameter denoting an internal characteristic of the camera calculated in advance calculates a camera coordinate at a point R'' in a space corresponding to the point in the camera image. Then utilizing an expression of the projection screen calculated in advance or a set of points calculates the camera coordinate of a cross point Q between the projection screen and a straight line tying the lens center Oc of the camera and the point R'' . Finally cross-references between the point of the camera image and the camera coordinate of the cross point Q are obtained while changing the position of the point P, and the position attitude in the camera coordinate system of the projector and the projector parameter denoting the internal characteristic are calculated.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

This Page Blank (uspto)

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-320652
(P2001-320652A)

(43)公開日 平成13年11月16日 (2001.11.16)

(51) Int.Cl.⁷
 H 04 N 5/74
 G 01 B 11/24
 G 03 B 21/00
 H 04 N 7/18

識別記号

F I
 H 04 N 5/74
 C 03 B 21/00
 H 04 N 7/18
 C 01 B 11/24

テマコード(参考)
 D 2 F 0 6 5
 D 5 C 0 5 4
 U 5 C 0 5 8
 K

審査請求 未請求 請求項の数4 OL (全19頁)

(21)出願番号 特願2000-139002(P2000-139002)

(22)出願日 平成12年5月11日 (2000.5.11)

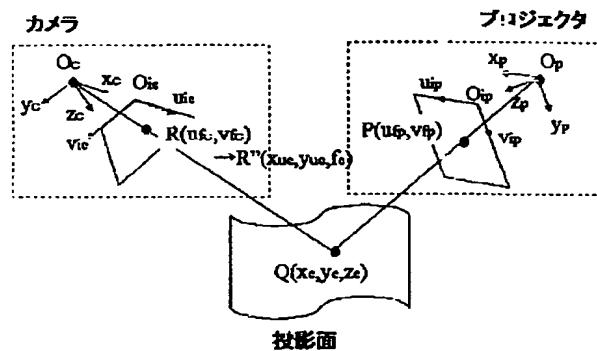
(71)出願人 000004237
 日本電気株式会社
 東京都港区芝五丁目7番1号
 (72)発明者 仁野 裕一
 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株
 式会社内
 (74)代理人 100088328
 弁理士 金田 輝之 (外2名)
 F ターム(参考) 2F065 AA04 AA53 BB05 FF09 FF42
 GC01 HH02 JJ03 JJ26 QQ17
 QQ21 QQ24 QQ32
 5C054 CC03 FC12 FC15 FD01 HA00
 HA05
 5C058 BA27 BB11 BB25 EA01

(54)【発明の名称】 プロジェクタ装置

(57)【要約】

【課題】 任意の三次元形状の投影面に対して投影するプロジェクタ装置において歪みのない出力映像を得ること。

【解決手段】 プロジェクタから出力する映像中の計測点Pに対し、その点Pに対応する投影面上の点Qをカメラによって撮影し、得られたカメラ画像から点Qに対応する点Rを検出する。つぎに、あらかじめ算出したカメラの内部特性を示すカメラ内部パラメータを用いて、カメラ画像中の点に対応する空間中の点R"のカメラ座標を算出する。そして、あらかじめ算出した投影面の式あるいは点の集合を利用して、カメラのレンズ中心OcとR"とを通る直線と投影面との交点Qのカメラ座標を算出する。最後に、点Pの位置を変化させながらカメラ画像中の点と交点Qのカメラ座標の対応を複数求め、それをもとにプロジェクタのカメラ座標系における位置姿勢および内部特性を示すプロジェクタパラメータを算出する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 原画像が入力される映像入力手段と、前記映像入力手段に入力された原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理と行なう映像補正手段と、所定のパタン画像を生成するパタン画像生成手段と、前記映像補正手段により傾き補正と拡大・縮小処理とが行なれた映像と前記パタン画像生成手段により生成されたパタン画像とを入力し、いずれかを投影出力する映像出力手段と、前記映像出力手段より投影出力される映像についてその投影面を含むシーンを撮影するカメラと、前記映像出力手段から投影出力と前記カメラにより撮影された投影面を含むシーンとに基づいて、前記映像出力手段と前記カメラそれぞれの内部特性および相対位置姿勢を補正するキャリブレーション手段と、前記キャリブレーション手段で補正された前記カメラの内部特性および相対位置姿勢を記憶する特性記憶手段と、前記映像出力手段において投影出力される映像を切り替える投影制御手段と、前記特性記憶手段に記憶された前記カメラの内部特性および相対位置姿勢を認識し、前記投影制御手段を介して前記映像出力手段において投影出力される映像を切り替え、前記パタン画像生成手段より出力されたパタン画像と前記映像出力手段に該パタン画像を入力したときの投影面の画像をカメラを介して撮影した画像から画像座標とカメラ画像座標との対応づけを行い、対応づけが行なわれたそれぞれの位置が透視変換モデルに基づいた三次元空間中のどの位置に対応するかを前記特性記憶手段により記憶されている特性をもとに推定し、その三次元空間の位置の対応から三角測量の原理によって該パタン画像が投影された位置の三次元座標を求めるこによって該投影面の三次元形状を獲得する投影面獲得手段と、を備え、前記映像補正手段は前記投影面獲得手段により獲得された投影面の三次元形状に対応して入力原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理と行なうことを特徴とするプロジェクタ装置。

【請求項2】 請求項1に記載のプロジェクタ装置において、前記映像出力手段が出力するパタン画像が位置計測の対象となる計測点を含んでおり、前記キャリブレーション手段が、前記カメラにより撮影された投影面を含むシーンの中の計測点を検出する計測点検出手段と、前記カメラの内部特性を示す内部パラメータを算出するカメラ内部パラメータ算出手段と、前記カメラの座標系における前記投影面の式あるいは点の集合を算出する投影面算出手段と、前記投影面上の計測点のカメラ座標系での位置を算出す

る計測点空間位置算出手段と、

前記映像出力手段が投影する映像内部の計測点の位置と、前記計測点空間位置算出手段が算出する投影面上の計測点の位置との対応を記憶する計測点対応記憶手段と、

前記計測点対応記憶手段が記憶した対応関係をもとに映像出力手段のカメラ座標系における位置姿勢および内部特性を示すプロジェクトパラメータを算出するプロジェクトパラメータ算出手段と、を有することを特徴とするプロジェクタ装置。

【請求項3】 請求項2に記載のプロジェクタ装置において、

前記映像出力手段が、複数の計測点を含む異なる複数の映像を、投影される映像の組み合わせで各計測点を識別できるように投影し、

前記カメラは、前記映像出力手段がそれぞれの映像を投影しているときの投影面を撮影してそれぞれ別なカメラ画像として取得し、

前記計測点検出手段が、

各カメラ画像に対して投影された点を検出する領域検出手段と、

前記領域検出手段が検出したそれぞれの領域について、どの映像を投影したときに検出されたかを利用して領域の識別を行う領域識別手段と、

各領域の重心位置など領域を代表する点を検出し、その点とカメラ画像中の計測点の位置とする計測点位置検出手段と、を有することを特徴とするプロジェクタ装置。

【請求項4】 請求項2または請求項3に記載のプロジェクタ装置において、

前記計測点検出手段が、

カメラ画像中の投影された点の領域のみを検出する領域検出手段と、

映像出力手段から映像を投影しても投影面の色などの影響でカメラ画像によってその映像を検出することができない検出不能領域について、それをあらかじめ記憶している検出不能領域記憶手段と、

前記領域検出手段により検出する領域が検出不能領域記憶手段に記憶されている検出不能領域にかかるおらず、計測点を投影した領域全体を検出しているかどうか判定する領域判定手段と、

前記領域判定手段により計測点を投影した領域全体を検出していると判定されたものについて、その領域の重心位置などカメラ画像中の計測点の位置を検出する計測点位置検出手段と、を有することを特徴とするプロジェクタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、投影面の三次元形状を測定し、該測定結果に応じて投影画像を補正して投影するプロジェクタ装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】プロジェクタでは、投影面を平面に限定した上でプロジェクタ光軸に対して投影面が垂直な位置から前後に傾くことから台形歪みが生じる。このような台形歪みを補正する従来技術として、特開平4-131819号公報、特開平8-336092号公報および特開平8-289237号公報に開示されるものがある。

【0003】特開平4-131819号公報に開示されるものでは光学系を手動で調整する構成とされ、特開平8-336092号公報、特開平8-289237号公報に開示されるものでは歪みに対応した映像を手動で調整して出力する補正機能が備えられている。

【0004】また、投影面の三次元形状が任意であっても投影画面の歪みを自動的に補正するプロジェクタが特願平11-236187号として提案されている。図17はこのような機能を有するプロジェクタの全体構成を示すブロック図である。

【0005】バタン画像生成部R6で所定のバタンを生成し、映像出力部R4から投影面にバタンを投影する。カメラR7はこの投影面上のバタンを撮影し、投影面獲得部R3へ送出す。投影面獲得部R3では光投影法の原理を用いて投影面を構成する各点における投影距離と投影方向を測定し、この測定結果を映像補正部R2および投影制御部R5へ出力する。

【0006】投影面獲得部R3からの測定結果を受け付けた映像補正部R2は、測定結果から投影面を構成する各点における投影距離と投影方向を測定した後、映像入力部R1から得られる原画像に対して、投影面の投影中心を通り、その法線ベクトルは投影面の法線ベクトルと水平成分が同じで、かつ、床面と平行な仮想投影面に歪みのない映像が表示されるよう、透視変換モデルに基づいて逆投影シミュレーションによって補正した画像を映像出力部R4へ出力する。一方、投影面獲得部R3からの測定結果を受け付けた投影制御部R5では、映像出力部R4が投影出力とする映像を映像補正部R2からの出力に切り替えさせる。このような構成とすることにより、任意の三次元形状の投影画面であってもその歪みが自動的に補正される映像が出力される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上述した従来の技術のうち、特開平4-131819号公報、特開平8-336092号公報および特開平8-289237号公報に開示されるものは、光学系を手動で調整する構成であり、調整に手間がかかり煩わしいとともに時間がかかるという問題点がある。

【0008】また、図17を用いて説明した方法で投影面の形状を測定する場合、カメラ・プロジェクタの相対位置姿勢や、透視変換モデルにもとづいたプロジェクタ・カメラの内部パラメータが正確に得られていないと、精度の高い形状測定が困難である。このことについて図

6を参照して詳細に説明する。

【0009】図17中の映像出力部R4から出力されるプロジェクタ画像に対して、図6に示すように、そのプロジェクタ画像内の点Pが投影面上の点Qに投影され、カメラR7によって点Qがカメラ画像中の点Rに撮影されたとする。ここで、点P・Rの位置をもとに点Qの3次元空間中の位置を推定する場合、点Pを透視変換モデルのプロジェクタ画像面上の点P'に変換し、点Rを透視変換モデルのカメラ画像面上の点R'に変換し、プロジェクタ光源OPと点P'を結ぶ直線と、カメラレンズ中心Ocと点R'を結ぶ直線との交点を求める。

【0010】したがって、プロジェクタ光源OPとカメラレンズ中心Ocの相対位置、プロジェクタ画像面とカメラ画像面の相対的な傾き、点Pから点P'に変換するためのプロジェクタの内部特性、点Rから点R'に変換するためのカメラの内部特性が正確にわかってないと、点Qの位置推定精度が悪くなってしまう。

【0011】図17を用いて説明した方法では、これらの値についてはプロジェクタ・カメラの内部特性としては予め与えられる定格値を利用し、プロジェクタ光源OPとカメラレンズ中心Ocの相対位置、画像面の相対的な傾きについては手動で測定したものを利用することとされている。したがって、予め与えられる定格値が正確な値でなかったり、手動での測定を良好に行うことができず、その測定結果が不正確な値である場合には、投影される面形状の測定を精度よく行うことができず、画像を補正しても像が歪んでしまうという問題があった。

【0012】本発明は上述したような従来の技術が有する問題点に鑑みてなされたものであって、プロジェクタ光源OPとカメラレンズ中心Ocの相対位置、プロジェクタ画像面とカメラ画像面の相対的な傾き、点Pから点P'に変換するためのプロジェクタの内部特性、点Rから点R'に変換するためのカメラの内部特性を正確に測定する手段を提供することにより、歪みのない画像を確実に提示することを目的とする。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明のプロジェクタ装置は、原画像が入力される映像入力手段と、前記映像入力手段に入力された原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理と行なう映像補正手段と、所定のバタン画像を生成するバタン画像生成手段と、前記映像補正手段により傾き補正と拡大・縮小処理とが行われた映像と前記バタン画像生成手段により生成されたバタン画像とを入力し、いずれかを投影出力する映像出力手段と、前記映像出力手段より投影出力される映像についてその投影面を含むシーンを撮影するカメラと、前記映像出力手段から投影出力と前記カメラにより撮影された投影面を含むシーンに基づいて、前記映像出力手段と前記カメラそれぞれの内部特性および相対位置姿勢を補正するキャリブレーション手段と、前記キャリブレーション手段で補正

された前記カメラの内部特性および相対位置姿勢を記憶する特性記憶手段と、前記映像出力手段において投影出力される映像を切り替える投影制御手段と、前記特性記憶手段に記憶された前記カメラの内部特性および相対位置姿勢を認識し、前記投影制御手段を介して前記映像出力手段において投影出力される映像を切り替え、前記パターン画像生成手段より出力されたパターン画像と前記映像出力手段に該パターン画像を入力したときの投影面の画像をカメラを介して撮影した画像から画像座標とカメラ画像座標との対応づけを行い、対応づけが行なわれたそれぞれの位置が透視変換モデルに基づいた三次元空間中のどの位置に対応するかを前記特性記憶手段により記憶されている特性をもとに推定し、その三次元空間の位置の対応から三角測量の原理によって該パターン画像が投影された位置の三次元座標を求めるこによって該投影面の三次元形状を獲得する投影面獲得手段と、を備え、前記映像補正手段は前記投影面獲得手段により獲得された投影面の三次元形状に対応して入力原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理を行なうことを特徴とする。

【0014】この場合、前記映像出力手段が出力するパターン画像が位置計測の対象となる計測点を含んでおり、前記キャリブレーション手段が、前記カメラにより撮影された投影面を含むシーンの中の計測点を検出する計測点検出手段と、前記カメラの内部特性を示す内部パラメータを算出するカメラ内部パラメータ算出手段と、前記カメラの座標系における前記投影面の式あるいは点の集合を算出する投影面算出手段と、前記投影面上の計測点のカメラ座標系での位置を算出する計測点算出手段と、前記投影面上の計測点の位置と、前記計測点空間位置算出手段が算出する投影面上の計測点の位置との対応を記憶する計測点対応記憶手段と、前記計測点対応記憶手段が記憶した対応関係をもとに映像出力手段のカメラ座標系における位置姿勢および内部特性を示すプロジェクタパラメータを算出するプロジェクタパラメータ算出手段と、を有することとしてもよい。

【0015】また、前記映像出力手段が、複数の計測点を含む異なる複数の映像を、投影される映像の組み合わせで各計測点を識別できるように投影し、前記カメラは、前記映像出力手段がそれぞれの映像を投影しているときの投影面を撮影してそれぞれ別なカメラ画像として取得し、前記計測点検出手段が、各カメラ画像に対して投影された点を検出する領域検出手段と、前記領域検出手段が検出したそれぞれの領域について、どの映像を投影したときに検出されたかを利用して領域の識別を行う領域識別手段と、各領域の重心位置など領域を代表する点を検出し、その点とカメラ画像中の計測点の位置とする計測点位置検出手段と、を有することとしてもよい。

【0016】さらに、前記計測点検出手段が、カメラ画像中の投影された点の領域のみを検出する領域検出手段

と、映像出力手段から映像を投影しても投影面の色などの影響でカメラ画像によってその映像を検出することができない検出不能領域について、それをあらかじめ記憶している検出不能領域記憶手段と、前記領域検出手段により検出する領域が検出不能領域記憶手段に記憶されている検出不能領域にかかっておらず、計測点を投影した領域全体を検出しているかどうか判定する領域判定手段と、前記領域判定手段により計測点を投影した領域全体を検出していると判定されたものについて、その領域の重心位置などカメラ画像中の計測点の位置を検出する計測点位置検出手段と、を有することとしてもよい。

【0017】「作用」本発明のプロジェクト装置は、特願平11-236187号に記載される発明の構成に加えて、キャリブレーション手段と特性記憶手段を有するものである。

【0018】本発明による作用について以下に説明する。

【0019】図9に示すように、パターン画像生成手段は位置計測の基準となる計測点Pをcむプロジェクタ画像を生成し、映像出力手段はその画像を投影面上に投影することによって点Pを点Qに表示し、カメラは点Qを含んだ投影面のシーンを撮影する。

【0020】以下、キャリブレーション手段において、まず、計測点検出手段はカメラ画像から点Qに対応する点Rを検出する。つぎに、計測点空間位置算出手段は、カメラ内部パラメータ算出手段で算出されたカメラの内部パラメータを用いてカメラ画像中の点R(u_{fc} , v_{fc})に対応する空間中の点R'のカメラ座標(x_{uc} , y_{uc} , f_c)を算出し、投影面算出手段によって算出される投影面の式あるいは点の集合を利用してカメラのレンズ中心Ocと点R'を通る直線と投影面との交点Q(x_c , y_c , z_c)を算出する。計測点対応記憶手段は、異なる位置の点Pにおいて、(u_{fc} , v_{fc})と(x_c , y_c , z_c)の対応を記憶する。プロジェクタパラメータ算出手段は、この対応をもとに、映像出力手段のカメラ座標系における位置姿勢および内部特性を示すプロジェクタパラメータを算出する。最後に、特性記憶手段はカメラ内部パラメータ算出手段で算出されたカメラの内部パラメータとプロジェクタパラメータ算出手段で算出されたプロジェクタパラメータを記憶する。

【0021】実際の投影面の計測に際しては、パターン画像生成手段は複数のパターン画像を生成して、映像出力手段から出し、投影面獲得手段は該パターン画像と前記映像出力手段に該パターン画像を入力したときの投影面の画像をカメラを介して撮影した画像からプロジェクタ画像座標とカメラ画像座標との対応づけをおこなって、対応づけが行なわれたそれぞれの位置が透視変換モデルに基づき三次元空間中のどの位置に対応するかを特性記憶手段により記憶された特性をもとに推定し、その三次元空間の位置の対応から三角測量の原理によって該パターン画

像が投影された位置の三次元座標を求ることによって該投影面の三次元形状を獲得する。

【0022】以上により、本発明の目的を達成することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】次に、本発明の実施形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0024】まず、本発明の第1の実施形態について図1を参照して詳細に説明する。本実施形態は、映像入力手段1と、投影面獲得手段2と、映像補正手段3と、パタン画像生成手段4と、投影制御手段5と、映像出力手段6と、カメラ7と、キャリブレーション手段8と、特性記憶手段9から構成されている。

【0025】これらの手段はそれぞれ次のように動作する。

【0026】映像入力手段1は、原画像を入力する。

【0027】投影面獲得手段2は、パタン画像生成手段4で生成するパタン画像と映像出力手段6にパタン画像を入力したときの投影面の画像をカメラ7を介して撮影した画像からプロジェクタ画像座標とカメラ画像座標との対応づけを行って、対応づけが行なわれたそれぞれの位置が透視変換モデルに基づいて三次元空間中のどの位置に対応するかを特性記憶手段9により記憶された特性をもとに推定し、その三次元空間の位置の対応から三角測量の原理によってパタン画像が投影された位置の三次元座標を求ることによって投影面の三次元形状を獲得する。

【0028】映像補正手段3は、投影面獲得手段2で獲得された投影面の形状に対応して入力原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理を行なう。

【0029】パタン画像生成手段4は、パタン画像を生成して出力する。投影制御手段5は、映像出力手段6に対する入力映像を切り替える。映像出力手段6は、入力映像を投影出力する。カメラ7は、該投影面を含むシーンを撮影する。キャリブレーション手段8は、映像出力手段6とカメラ7の内部特性および相対位置姿勢を補正する。特性記憶手段9は、前記キャリブレーション手段8で補正された結果を記憶する。

【0030】つぎに、キャリブレーション手段8について、その構成を示す図2を参照して詳細に説明する。

【0031】キャリブレーション手段8は、計測点検出手段81と、カメラ内部パラメータ算出手段82と、投影面算出手段83と、計測点空間位置算出手段84と、計測点対応記憶手段85と、プロジェクタパラメータ算出手段86から構成されている。

【0032】計測点検出手段81は、カメラ画像中の計測点を検出手段。カメラ内部パラメータ算出手段82は、カメラ7の内部特性を示す内部パラメータを算出手段。投影面算出手段83は、カメラ座標系における投影面の式、あるいは点の集合を算出手段。計測点空間位置

算出手段84は、投影面上の計測点のカメラ座標系での位置を算出手段。計測点対応記憶手段85は、映像出力手段6が投影する映像内部の計測点の位置と、計測点空間位置算出手段84が算出手段の投影面上の計測点の位置との対応を記憶する。プロジェクタパラメータ算出手段86は、計測点対応記憶手段85が記憶した対応関係とともに映像出力手段6のカメラ座標系における位置姿勢および内部特性を示すプロジェクタパラメータを算出手段。

【0033】つぎに、本実施形態の全体の動作について図6ないし図10を参照して詳細に説明する。

【0034】具体的な処理内容の説明に入る前に、本実施形態で使用するカメラ座標系、プロジェクタ座標系の定義と、カメラ7の世界座標での位置姿勢および内部特性を表すカメラパラメータ、映像出力手段6の世界座標での位置姿勢および内部特性を表すプロジェクタパラメータの定義を行う。

【0035】図7は本実施形態で使用するカメラ座標系の定義を説明するための図である。世界座標系 $O_w - x_w - y_w - z_w$ は、空間中の位置向きを一意に定めるために適当に与えた座標系である。これに対して、カメラ座標系 $O_c - x_c - y_c - z_c$ は、 O_c はレンズ中心（ピンホール）を表し、 z_c 軸はレンズの光軸に一致するように設定する。カメラ画像座標系 $O_{ic} - u_{ic} - v_{ic}$ は、カメラ画像の左上 O_{ic} を原点とし、カメラ画像の右向きを u_{ic} 座標の正方向、カメラ画像の下向きを v_{ic} 座標の正方向とした座標系である。これら3つの座標系は以下に示す関係がある。

【0036】まず、世界座標 $O_w - x_w - y_w - z_w$ における点Qの座標を (x_w, y_w, z_w) と表し、カメラ座標 $O_c - x_c - y_c - z_c$ における点Qの座標を (x_c, y_c, z_c) と表す。つぎに、 $x_c - y_c$ 平面に平行で z_c 座標が f_c の位置に画像中心が O_c 、座標軸がX-Yのカメラ画像面を考える。理想的なピンホールカメラの場合は、点Qの座標 (x_c, y_c, z_c) はカメラ画像面上では (x_{uc}, y_{uc}) と表されるが、レンズの幾何学的歪みにより実際には (x_{dc}, y_{dc}) の位置に対応するものとする。そして、 (x_{dc}, y_{dc}) を離散化し、カメラ画像座標系で表した位置を (u_{fc}, v_{fc}) と表す。点Qの世界座標 (x_w, y_w, z_w) とその点のカメラ画像座標系での位置 (u_{fc}, v_{fc}) との関係は以下の手順で導く。

STEP 1

(x_w, y_w, z_w) から (x_c, y_c, z_c) への変換を回転行列 R_c と並進ベクトル T_c を用いて以下のように表す。

【0037】

【数1】

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R_c \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T_c \quad (1)$$

【0038】ただし、

【0039】

【数2】

$$R_c = \begin{bmatrix} r_{c1} & r_{c2} & r_{c3} \\ r_{c4} & r_{c5} & r_{c6} \\ r_{c7} & r_{c8} & r_{c9} \end{bmatrix}, \quad T_c = \begin{bmatrix} T_{cx} \\ T_{cy} \\ T_{cz} \end{bmatrix} \quad (2)$$

【0040】STEP 2

透視変換による (x_c, y_c, z_c) から (x_{uc}, y_{uc}) への変換を焦点距離 f_c を用いて以下のように表す。

【0041】

【数3】

$$x_{uc} = f_c \frac{x_c}{z_c}, \quad y_{uc} = f_c \frac{y_c}{z_c} \quad (3)$$

【0042】STEP 3

(x_{uc}, y_{uc}) から (x_{dc}, y_{dc}) への変換を以下のように表す。

$$x_{dc} + D_x = x_{uc}, \quad y_{dc} + D_y = y_{uc} \quad (4)$$

ただし、 D_x, D_y はレンズの半径方向の歪み係数 k_{c1}, k_{c2} を用いて以下のように表す。

【0043】

【数4】

$$D_x = x_{dc} (k_{c1} r^2 + k_{c2} r^4) \quad (5)$$

【0044】

【数5】

$$D_y = y_{dc} (k_{c1} r^2 + k_{c2} r^4) \quad (6)$$

$$s_{cx}^{-1} d'_{cx} U + s_{cy}^{-1} d'_{cy} V (k_{c1} r^2 + k_{c2} r^4) = f_c \frac{r_{c1} x_w + r_{c2} y_w + r_{c3} z_w + T_{cx}}{r_{c4} x_w + r_{c5} y_w + r_{c6} z_w + T_{cy}} \quad (11)$$

【0054】

【数11】

$$d_{cy} V + d_{cy} V (k_{c1} r^2 + k_{c2} r^4) = f_c \frac{r_{c4} x_w + r_{c5} y_w + r_{c6} z_w + T_{cy}}{r_{c7} x_w + r_{c8} y_w + r_{c9} z_w + T_{cz}} \quad (12)$$

【0055】が得られる。ただし、

【0056】

【数12】

$$r = \sqrt{(s_{cx}^{-1} d'_{cx} U)^2 + (d_{cy} V)^2} \quad (13)$$

【0057】(13) である。

【0058】なお、上記に示した回転行列 R_c 、並進ベ

クトル T_c 、焦点距離 f_c 、歪み係数 k_{c1}, k_{c2} 、スケール係数 s_{cx} 、カメラ画像座標系における画像中心の位置 (u_{cc}, v_{cc}) 、 u_{ic} 方向のCCD素子の間隔 d_{cx} 、 v_{ic} 方向のCCD素子の間隔 d_{cy} 、 u_{ic} 方向のCCD素子数 N_{ccx} 、1走査線のサンプル数 N_{cfi} をカメラパラメータと呼ぶ。なお、回転行列 R_c 、並進ベクトル T_c は特に外部パラメータと呼ばれ、残りのパラメータは特に内部パラメータと呼ばれる。

【0059】つぎに、図8に本実施形態で使用するプロジェクタ座標系の定義を示す。世界座標系 $O_w - x_w - y_w - z_w$ は、カメラ座標系の場合と同様、空間中の位置向きを一意に定めるために適当に与えた座標系である。これに対して、プロジェクタ座標系 $O_p - x_p - y_p - z_p$ は、 O_p はプロジェクタ光源を表し、 z_p 軸はレンズの光軸に一致するように設定する。プロジェクタ画像座標系 $O_{ic} - u_{ic} - v_{ic}$ は、映像出力手段1によって生成される画像の左上 O_{ip} を原点とし、画像の右向きを u_{ip} 座標の正方向、画像の下向きを v_{ip} 座標の正方向とした座標系である。これら3つの座標系は以下に示す関係がある。

【0060】まず、世界座標 $O_w - x_w - y_w - z_w$ における点Qの座標を (x_w, y_w, z_w) と表し、プロジェクタ座標 $O_p - x_p - y_p - z_p$ における点Qの座標を (x_p, y_p, z_p) と表す。つぎに、 $x_p - y_p$ 平面に平行で z_p 座標が f_p の位置に画像中心が O_v 、座標軸がX

$$R_c = \begin{bmatrix} r_{p1} & r_{p2} & r_{p3} \\ r_{p4} & r_{p5} & r_{p6} \\ r_{p7} & r_{p8} & r_{p9} \end{bmatrix}$$

【0064】STEP 2

透視変換による (x_p, y_p, z_p) から (x_{up}, y_{up}) への変換を焦点距離 f_p を用いて以下のように表す。

【0065】

【数15】

$$x_{up} = f_p \frac{x_p}{z_p}, \quad y_{up} = f_p \frac{y_p}{z_p} \quad (16)$$

【0066】STEP 3

(x_{up}, y_{up}) から (x_{dp}, y_{dp}) への変換を以下のように表す。

$$x_{dp} + D_x = x_{up}, \quad y_{dp} + D_y = y_{up} \quad (17)$$

ただし、 D_x, D_y はレンズの半径方向の歪み係数 k_{p1}, k_{p2} を用いて以下のように表す。

【0067】

【数16】

$$D_x = x_{dp} \left(\kappa_{p1} r^2 + \kappa_{p2} r^4 \right) \quad (18)$$

【0068】

$-Y$ のプロジェクタ画像面（但し、この面は平面で、機器的にはプロジェクタの液晶面にあたる）を考える。透視変換モデルが当てはまるプロジェクタの場合は、点Qの座標 (x_p, y_p, z_p) はプロジェクタ画像面上では (x_{up}, y_{up}) と表されるが、レンズの幾何学的歪みにより実際には (x_{dp}, y_{dp}) の位置に対応するものとする。そして、 (x_{dp}, y_{dp}) を離散化し、プロジェクタ画像座標系で表した位置を (u_{fp}, v_{fp}) と表す。プロジェクタ画像座標系での点P (u_{fp}, v_{fp}) と点Pが空間中に投影された点Qの世界座標 (x_w, y_w, z_w) との関係は以下の手順で導く。

STEP 1

(x_w, y_w, z_w) から (x_p, y_p, z_p) への変換を回転行列 R_p と並進ベクトル T_p を用いて以下のように表す。

【0061】

【数13】

$$\begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} = R_p \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T_p \quad (14)$$

【0062】ただし、

【0063】

【数14】

$$T_p = \begin{bmatrix} T_{px} \\ T_{py} \\ T_{pz} \end{bmatrix} \quad (15)$$

【数17】

$$D_y = y_{dp} \left(\kappa_{p1} r^2 + \kappa_{p2} r^4 \right) \quad (19)$$

【0069】ただし、

【0070】

【数18】

$$r = \sqrt{x_{dp}^2 + y_{dp}^2}$$

【0071】STEP 4

(x_{dp}, y_{dp}) から (u_{fp}, v_{fp}) への変換を以下のように表す。

【0072】

【数19】

$$u_{fp} = s_{px} d_{px}^{-1} x_{dp} + u_{cp} \quad (20)$$

【0073】

【数20】

$$v_{fp} = d_{py}^{-1} y_{dp} + v_{cp} \quad (21)$$

【0074】ただし、 s_{px} はスケール係数、 (u_{cp}, v_{cp}) はプロジェクタ画像座標系で表した画像中心 O_v の位置、 d_{px}, d_{py} はそれぞれ u_{ip} 方向、 v_{ip} 方向の液晶素子の間隔を表す。なお、 d_{px} は u_{ip} 方向の液晶素子数 N_{pcx} と1走査線のサンプル数 N_{pfz} を用いて d_{ip} を補正したものである。

【0075】

【数21】

$$s_{px}^{-1}d'_{px}U + s_{px}^{-1}d'_{px}U \left(k_{p1}r^2 + k_{p2}r^4 \right) = f_p \frac{r_{p1}x_w + r_{p2}y_w + r_{p3}z_w + T_{px}}{r_{p7}x_w + r_{p8}y_w + r_{p9}z_w + T_{pz}}$$

(24)

【0078】

$$d_{py}V + d_{py}V \left(k_{p1}r^2 + k_{p2}r^4 \right) = f_p \frac{r_{p4}x_w + r_{p5}y_w + r_{p6}z_w + T_{py}}{r_{p7}x_w + r_{p8}y_w + r_{p9}z_w + T_{pz}} \quad (25)$$

【0079】が得られる。ただし、

【0080】

【数24】

$$r = \sqrt{(s_{px}^{-1}d'_{px}U)^2 + (d_{py}V)^2} \quad (26)$$

【0081】である。

【0082】なお、上記に示した回転行列 R_p 、並進ベクトル T_p 、焦点距離 f_p 、歪み係数 k_{p1}, k_{p2} 、スケール係数 s_{px} 、プロジェクタ画像座標系における画像中心の位置 (u_{cp}, v_{cp}) 、 u_{ip} 方向の液晶素子の間隔 d_{px} 、 v_{ip} 方向の液晶素子の間隔 d_{py} 、 u_{ip} 方向の液晶素子数 N_{pcx} 、1走査線のサンプル数 N_{pfz} をプロジェクタパラメータと呼ぶ。なお、回転行列 R_p 、並進ベクトル T_p は特に外部パラメータとよばれ、残りのパラメータは特に内部パラメータと呼ばれる。

【0083】以下に、図1における処理内容を説明する。本実施形態では事前に、キャリブレーション手段8において、カメラの内部パラメータ、プロジェクタの内部パラメータ、カメラ座標系からプロジェクタ座標系に変換するための回転行列 R_{cp} 、並進ベクトル T_{cp} を求める。図2にキャリブレーション手段8の全体構成図を示す。

【0084】ここでまず、カメラ内部パラメータ算出手段82において、カメラの内部パラメータ（焦点距離 f_c 、歪み係数 k_{c1}, k_{c2} 、スケール係数 s_{cx} 、カメラ画像座標系における画像中心 (u_{cc}, v_{cc}) 、 u_{ic} 方向のCCD素子の間隔 d_{cx} 、 v_{ic} 方向のCCD素子の間隔 d_{cy} 、 u_{ic} 方向のCCD素子数 N_{ccx} 、1走査線のサンプル数 N_{cfz} ）を求め、投影面算出手段83によって、カメラ座標系における投影面の式・点の集合を求める。これらの値は、カメラにズームレンズを用いることによっ

$$d'_{px} = d_{px} \frac{N_{pcx}}{N_{pfz}} \quad (22)$$

【0076】以上の関係を整理すると、
 $U = u_{fp} - u_{cp}$, $V = v_{fp} - v_{cp}$ (23)

を用いて、

【0077】

【数22】

(24)

【数23】

$$d_{py}V + d_{py}V \left(k_{p1}r^2 + k_{p2}r^4 \right) = f_p \frac{r_{p4}x_w + r_{p5}y_w + r_{p6}z_w + T_{py}}{r_{p7}x_w + r_{p8}y_w + r_{p9}z_w + T_{pz}} \quad (25)$$

て手動で求めることもできるが、簡便な手法として以下のようない法を図10を参照して説明する。

【0085】まず、投影面として格子点間距離 a があらかじめ分かれている市松模様が描かれたキャリブレーションボードをカメラによって撮影する。つぎに、撮影した画像から画像処理あるいは手動で格子点にあたる点（例、 $P_c(u_p, v_p)$ ）を検出する。画像処理で検出する場合は格子点の位置がちょうどエッジの交点にあたることを利用する。そして、格子点の中で世界座標の原点になる点 $O_w(u_w, v_w)$ 、世界座標の x_w, y_w 軸の正の向きを手動、あるいは特開平05-274426号公報に開示されているような方法などにより決め、 P_c に対応する世界座標系での点 P_w の座標 $(a \cdot i, a \cdot j, 0)$ （ i, j 整数）を決める。つぎに、 P_c と P_w の複数の対応をもとに、 T_{cal} の手法（参考：Roger Y. Tsai, "An Efficient and Accurate Camera Calibration Technique for 3D Machine Vision", Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1986, pp.364-374）によりカメラの内部パラメータと世界座標を基準にした回転行列 R_c 、並進ベクトル T_c を求める。

【0086】これらの値が求まると、(1)より

【0087】

【数25】

$$\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = R_c^{-1} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} - R_c^{-1}T_c \quad (27)$$

【0088】が成立つので、

【0089】

【数26】

$$R_c^{-1} = \begin{bmatrix} r'_{c1} & r'_{c2} & r'_{c3} \\ r'_{c4} & r'_{c5} & r'_{c6} \\ r'_{c7} & r'_{c8} & r'_{c9} \end{bmatrix}, R_c^{-1} T_c = \begin{bmatrix} T'_{cx} \\ T'_{cy} \\ T'_{cz} \end{bmatrix}$$

【0090】とすれば、世界座標系での投影面の式は $r'_{c7} x_c + r'_{c8} y_c + r'_{c9} z_c - T'_{cz} = 0$

と表される。

【0091】以上が、カメラ内部パラメータ算出手段4と投影面算出手段5の動作である。

【0092】つぎに、これらの値が求まった後の処理について、図9を参照しながら詳細に説明する。

【0093】まず、パタン画像生成手段4より映像出力手段6から出力するプロジェクタ画像を作成する。この映像の例としては、内部に点が1つあるもの、あるいは後述する第2の実施形態のように内部に点が複数あるものが考えられる。ここでは内部に点が1つあるものについてのみ説明する。なお、この点をプロジェクタ画像座標系において $P(u_{fp}, v_{fp})$ と表すこととする。パタン画像生成手段4では、後述するプロジェクタパラメータ算出手段10で算出するのに必要な点の数だけ、しかもそれぞれの $P(u_{fp}, v_{fp})$ の位置が異なるように作成される。映像出力手段6は、投影制御手段5からの信号によって適宜プロジェクタ画像を切り替えながら、これらのプロジェクタ画像を出力する。ここで、点 P が映像出力手段6によって投影された点 Q を、カメラ座標系において (x_c, y_c, z_c) と表すものとする。

【0094】つぎに、映像出力手段6により映像の投影が行われている投影面をカメラ7が撮影し、カメラ画像として取り込む。取り込まれたカメラ画像は、計測点検出手段81によって、映像投影前と後の画像の差分などを用いて投影されている点の領域を検出し、その領域の重心点を点 R として検出する。なお、この点 R のカメラ画像座標系での位置を (u_{fc}, v_{fc}) とする。

【0095】計測点空間位置算出手段84では、カメラ内部パラメータ算出手段82に記載された内部パラメータと投影面算出手段83に記載された投影面の式あるいは点の集合を参照しながら、 $R(u_{fc}, v_{fc})$ から $Q(x_c, y_c, z_c)$ を推定する。

STEP1

(7) (8) から、 $R(u_{fc}, v_{fc})$ から $R'(x_{dc}, y_{dc})$ に以下の式により変換する。

$$x_{dc} = s_{cx}^{-1} d_{cx} (u_{fc} - u_{cc}) \quad (29)$$

$$y_{dc} = d_{cy} (v_{fc} - v_{cc}) \quad (30)$$

STEP2

(4) より、 $P'(x_{dp}, y_{dp})$ $R'(x_{dc}, y_{dc})$ を $P''(x_{up}, y_{up})$ $R''(x_{uc}, y_{uc})$ に変換する。

STEP3

カメラ座標の原点 O_c のカメラ座標系での位置 $(0, 0, 0)$ と $R''(x_{uc}, y_{uc})$ のカメラ座標系での位置

$= 0$ なので、カメラ座標系での投影面の式は、

(x_{uc}, y_{uc}, f_c) から、直線 $O_c R''$ 上の点 Q

(x_c, y_c, z_c) は、媒介変数 t を用いて

【0096】

【数27】

$$\begin{cases} x_c = x_{uc} \cdot t \\ y_c = y_{uc} \cdot t \\ z_c = f_c \cdot t \end{cases} \quad (31)$$

【0097】と表される。投影面が方程式 $f(x, y, z) = 0$ により表されるとすれば、

$$f(x_c, y_c, z_c) = 0 \quad (32)$$

が成り立つので、(31) (32) から成り立つ $f(t) = 0$ を解いて、それによって得られた t をもとに、(31) によって (x_c, y_c, z_c) を定めればよい。例えば、投影面の式が(28)のように表される場合、

【0098】

【数28】

$$t = \frac{T'_{cz}}{r'_{c7} x_{uc} + r'_{c8} y_{uc} + r'_{c9} f_c}$$

【0099】となるので、

【0100】

【数29】

$$\begin{cases} x_c = \frac{T'_{cz} x_{uc}}{r'_{c7} x_{uc} + r'_{c8} y_{uc} + r'_{c9} f_c} \\ y_c = \frac{T'_{cz} y_{uc}}{r'_{c7} x_{uc} + r'_{c8} y_{uc} + r'_{c9} f_c} \\ z_c = \frac{T'_{cz} f_c}{r'_{c7} x_{uc} + r'_{c8} y_{uc} + r'_{c9} f_c} \end{cases} \quad (33)$$

【0101】となる。また、投影面が点の集合 $U = \{(x_{ck}, y_{ck}, z_{ck}) \mid k\text{は投影面を構成する点の個数}\}$ で表される場合、(31) の t を変化させながら、 $(x_c, y_c, z_c) \in U$ を満たすようなものを探せばよい。

【0102】以上が計測点空間位置算出手段84の動作である。

【0103】つぎに、計測点対応記憶手段85では、パタン画像生成手段4で作成する異なるパタン画像における $P(u_{fp}, v_{fp})$ のそれぞれにおいて、前記 $(u_{fp},$

v_{fp}) と (x_c, y_c, z_c) の対応を記憶する。

【0104】最後に、プロジェクタパラメータ算出手段 86 では、計測点対応記憶手段 85 に記憶された対応関係をもとにプロジェクタパラメータを算出する。ここで、カメラパラメータとプロジェクタパラメータは同じ式 ((1) ~ (13)、(14) ~ (26)) で定義できることから、算出方法はカメラキャリブレーションと同様の方法を利用することができる。ここでは、T _{sai} キャリブレーション法（参考文献は前述）を用いた場合について説明する。

【0105】この手法は、N 個 (N : 多数) の点の世界座標 (x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) (ここでは世界座標 = カメラ座標) とその点に対応するプロジェクタ画像座標 (u_{fpi}, v_{fpi}) の組が計測点対応記憶手段 7 により与えられたときに、プロジェクタの外部パラメータとして回転行列 R_p (未知数 3 個) と並進ベクトル T_p (未知数 3 個) を、内部パラメータとして焦点距離 f_p、歪み係数 k_{p1}, k_{p2}、スケール係数 s_{px}、プロジェクタ画像座標系における画像中心の位置 (u_{cp}, v_{cp}) を求める。ただし、この場合、世界座標系 = カメラ座標系となるため、R_p はカメラ座標系からプロジェクタ座標系へ変換するための回転行列 R_{cp}、T_p はカメラ座標系からプロジェクタ座標系へ変換するための並進ベクトル T_{cp} と同じことになる。以下、s_{px} を既知 (通常 1.0) とした場合のキャリブレーションの手順について述べる。

STEP 1

プロジェクタの仕様から N_{pcx}, N_{pfz}, d_{-px}, d_{py} を求める。

STEP 2

プロジェクタ画像の中央を画像中心 (u_{cp}, v_{cp}) とする。

STEP 3

N 点の (x_{dipi}, y_{dipi}) を求める。

$$x_{dipi} = s_{px}^{-1} d_{-px} (u_{fpi} - u_{cp}) \quad (34)$$

$$y_{dipi} = d_{py} (v_{fpi} - v_{cp}) \quad (35)$$

$$T_{py}^{-2} = \frac{S_r - \sqrt{S_r^2 - 4(r'_1 r'_5 - r'_4 r'_2)^2}}{2(r'_1 r'_5 - r'_4 r'_2)^2} \quad (40)$$

【0112】を求める。ただし、 $s_r = r_{-1}^{-2} + r_{-2}^{-2} + r_{-4}^{-2} + r_{-5}^{-2}$ とする。一方、行列 C の行または列が

0 の場合は、

【0113】

【数34】

$$T_{py}^{-2} = (r_i'^2 + r_j'^2)^{-1} \quad (41)$$

【0114】を求める。ただし、 r_i, r_j は行列 C の

STEP 4

(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) と (x_{dipi}, y_{dipi}) の組から、 $T_{py}^{-1} r_{p1}, T_{py}^{-1} r_{p2}, T_{py}^{-1} r_{px}, T_{py}^{-1} r_{p4}, T_{py}^{-1} r_{p5}$ を未知数とする連立方程式を解く。

【0106】

【数30】

$$\begin{bmatrix} y_{dipi} x_{ci} \\ y_{dipi} y_{ci} \\ -x_{dipi} x_{ci} \\ -x_{dipi} y_{ci} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} T_{py}^{-1} r_{p1} \\ T_{py}^{-1} r_{p2} \\ T_{py}^{-1} r_{px} \\ T_{py}^{-1} r_{p4} \\ T_{py}^{-1} r_{p5} \end{bmatrix} = x_{dipi} \quad (36)$$

【0107】この式は、(16) (17) から

$$x_{dp} y_p - y_{dp} x_p = 0 \quad (37)$$

を導き、さらにを代入することによって得られる。

STEP 5

$T_{py}^{-1} r_{p1}, T_{py}^{-1} r_{p2}, T_{py}^{-1} r_{px}, T_{py}^{-1} r_{p4}, T_{py}^{-1} r_{p5}$ から T_{py}^2 を求める。まず、

【0108】

【数31】

$$C = \begin{bmatrix} r'_1 & r'_2 \\ r'_3 & r'_4 \end{bmatrix} \quad (38)$$

【0109】

【数32】

$$= \begin{bmatrix} T_{py}^{-1} r_{p1} & T_{py}^{-1} r_{p2} \\ T_{py}^{-1} r_{p4} & T_{py}^{-1} r_{p5} \end{bmatrix} \quad (39)$$

【0110】とする。行列 C の行または列の要素が 0 でない場合は、

【0111】

【数33】

0 でない行または列の要素を表す。

STEP 6

画像中心 (u_{cp}, v_{cp}) から十分離れた点 (u_{fpi}, v_{fpi}) とその対応する点の世界座標 (x_{ci}, y_{ci}, z_{ci}) から T_{py} の符号を決定する。まず、 T_{py} の符号を正として、

【0115】

【数35】

$$\begin{aligned}
 r_{p1} &= (T_{py}^{-1} r_{p1}) T_{py}, \quad r_{p2} = (T_{py}^{-1} r_{p2}) T_{py}, \quad r_{p4} = (T_{py}^{-1} r_{p4}) T_{py}, \\
 r_{p5} &= (T_{py}^{-1} r_{p5}) T_{py}, \quad T_{px} = (T_{py}^{-1} T_{px}) T_{py} \\
 x &= r_{p1}x_{ci} + r_{p2}y_{ci} + T_{px} \\
 y &= r_{p4}x_{ci} + r_{p5}y_{ci} + T_{py} \quad (42)
 \end{aligned}$$

【0116】を求め、xとUの符号が等しくかつyとVの符号が等しいなら T_{py} の符号を正、それ以外では T_{py} の符号を負とする。

STEP 7

$r_{p1}, r_{p2}, r_{p4}, r_{p5}$, から回転行列 R_p を決定する。

【0117】

【数36】

$$R_p = \begin{bmatrix} r_{p1} & r_{p2} & \sqrt{1 - r_{p1}^2 - r_{p2}^2} \\ r_{p4} & r_{p5} & s\sqrt{1 - r_{p4}^2 - r_{p5}^2} \\ r_{p7} & r_{p8} & r_{p9} \end{bmatrix} \quad (43)$$

【0118】ただし、 $s = -\operatorname{sgn}(r_{p1}r_{p4} + r_{p2}r_{p5})$ である。 r_{p7}, r_{p8}, r_{p9} は R_p が直交行列であるという性質を利用して求める。なお、STEP 8で求

める焦点距離 f_p が負となる場合は、

【0119】

【数37】

$$R_p = \begin{bmatrix} r_{p1} & r_{p2} & -\sqrt{1 - r_{p1}^2 - r_{p2}^2} \\ r_{p4} & r_{p5} & -s\sqrt{1 - r_{p4}^2 - r_{p5}^2} \\ -r_{p7} & -r_{p8} & r_{p9} \end{bmatrix} \quad (44)$$

【0120】を用いる。

STEP 8

レンズ歪みを無視し、($k_{p1} = k_{p2} = 0$)として、 f_p と T_{pz} の初期値を求める。N個のキャリブレーション点を用いて f_p と T_{pz} を未知数とする線形方程式を解く。

【0121】

【数38】

$$[y_i - d_{py}U_i] \cdot \begin{bmatrix} f_p \\ T_{pz} \end{bmatrix} = w_i d_{py}U_i \quad (45)$$

【0122】ただし、

$$\begin{aligned} y_i &= r_{p4}x_{ci} + r_{p5}y_{ci} + T_{py} \\ w_i &= r_{p7}x_{ci} + r_{p8}y_{ci} \end{aligned} \quad (46)$$

STEP 9

STEP 8で求めた f_p と T_{pz} および $k_{p1} = k_{p2} = 0$ を初期値として、(25)を非線形最適化問題として解き、 f_p 、 T_{pz} 、 k_{p1} 、 k_{p2} を求める。

【0123】以上がTsaのキャリブレーション法の内容である。

【0124】最後にこれらの値を算出した後、その結果を特性記憶手段9に記憶する。

【0125】以上がキャリブレーション手段8の処理内容である。

【0126】つぎに、特性記憶手段9に記憶された情報

をもとに、投影面獲得手段2において、任意の三次元形状をした投影面に対して投影面の三次元形状を認識する。ここでいう投影面の三次元形状とは、図17を用いて説明した特願平11-236187号と同様、プロジェクタ光源に対する方位角、傾斜角、距離の3つのパラメータで表されるものである。ここで、方位角とはプロジェクタ装置に対して投影面がいずれの方向に傾いているかを示す角度（プロジェクタ装置の光軸を含む垂直面内の、光軸と直交する軸の回りの回転角）である。傾斜角とは、投影面がどのくらい傾いているかを示す角度（プロジェクタ装置の光軸と直交する水平軸の回りの回転角）である。距離とは、プロジェクタ中心（プロジェクタレンズの中心）から投影中心までの距離である。投影面を構成する各点のプロジェクタ座標系で表される位置が分かれば、座標系の定義方法を変えることによってこれら3つのパラメータを簡単に求めることができる。したがって、ここでは、投影面を構成する各点のプロジェクタ座標系で表される位置を投影面の三次元形状とする。

【0127】まず、バタン画像生成手段4は、縞模様などのバタンのあるプロジェクタ画像を作成し、映像出力手段6によって投影面に投影する。カメラ7は、投影面をカメラによって撮影し、そのカメラ画像を取得する。投影面獲得手段2は、そのプロジェクタ画像とカメラ画像を基として以下のように投影面の3次元形状を推定す

る。

【0128】まず、カメラ画像、プロジェクタ画像の各画素において光投影法の原理を利用して対応づけを行なう。以下、対応づけられた画素を P (u_{fp} , v_{fp})、R (u_{fc} , v_{fc}) とする。

【0129】つぎに、P と R の座標から、特性記憶手段 9 に記憶されたデータを基として、投影点 Q のプロジェクタ座標系での位置 (x_p , y_p , z_p) を以下のようにして推定する。STEP 1 (7) (8) (20) (21) から、P (u_{fp} , v_{fp})、R (u_{fc} , v_{fc}) をそれぞれ P^- (x_{dp} , y_{dp})、 R^- (x_{dc} , y_{dc}) に以下の式により変換する。

$$x_{dp} = s_{px} d_{px}^{-1} (u_{fp} - u_{cp}) \quad (47)$$

$$y_{dp} = d_{py} (v_{fp} - v_{cp}) \quad (48)$$

$$x_{dc} = s_{cx}^{-1} d_{cx}^{-1} (u_{fc} - u_{cc}) \quad (49)$$

$$y_{dc} = d_{cy} (v_{fc} - v_{cc}) \quad (50)$$

STEP 2

(4) (17) より、 P^- (x_{dp} , y_{dp}) R^- (x_{dc} , y_{dc}) を P'' (x_{up} , y_{up}) R'' (x_{uc} , y_{uc}) に変換する。

STEP 3

カメラ座標の原点 O c のプロジェクタ座標系での位置 (x_{po} , y_{po} , z_{po}) と R'' (x_{uc} , y_{uc}) のプロジェクタ座標系での位置 (x_{pr} , y_{pr} , z_{pr}) を (27) より以下のように算出する。

【0130】

【数39】

$$O c R'' : \frac{x - x_{po}}{x_{pr} - x_{po}} = \frac{y - y_{po}}{y_{pr} - y_{po}} = \frac{z - z_{po}}{z_{pr} - z_{po}} \quad (54)$$

【0136】これより、

【0137】

$$\begin{cases} x_p = \frac{x_{up} \{x_{po}(y_{pr} - y_{po}) - y_{po}(x_{pr} - x_{po})\}}{x_{up}(y_{pr} - y_{po}) - y_{up}(x_{pr} - x_{po})} \\ y_p = \frac{y_{up} \{x_{po}(y_{pr} - y_{po}) - y_{po}(x_{pr} - x_{po})\}}{x_{up}(y_{pr} - y_{po}) - y_{up}(x_{pr} - x_{po})} \\ z_p = \frac{z_{up} \{x_{po}(y_{pr} - y_{po}) - y_{po}(x_{pr} - x_{po})\}}{x_{up}(y_{pr} - y_{po}) - y_{up}(x_{pr} - x_{po})} \end{cases} \quad (55)$$

【0138】つぎに、投影制御手段 5 は映像出力手段 6 が 出力する映像を映像補正手段 3 からの出力に切り替えた上で、映像入力手段 1 が生成する原画像に対し、映像補正手段 3 は投影面形状に対応して入力原画像に対する傾き補正と拡大・縮小処理を行い、映像出力手段 6 は映像を出力する。統いて、映像補正手段 3 による傾き補正処理が行われる。

【0139】これらの詳細な動作は、特願平 11-23

$$\begin{pmatrix} x_{po} \\ y_{po} \\ z_{po} \end{pmatrix} = -R_{cp}^{-1} T_{cp} \quad (51)$$

【0131】

【数40】

$$\begin{pmatrix} x_{pr} \\ y_{pr} \\ z_{pr} \end{pmatrix} = R_{cp}^{-1} \begin{pmatrix} x_{uc} \\ y_{uc} \\ f_c \end{pmatrix} - R_{cp}^{-1} T_{cp} \quad (52)$$

【0132】ただし、 R_{cp} はプロジェクタ座標を基準にした回転行列、 T_{cp} はプロジェクタ座標を基準にした並進ベクトルである。

STEP 4

直線 O c R''、直線 O p P'' の交点により Q (x_p , y_p , z_p) を定める。

直線

【0133】

【数41】

$$O p P'' : \frac{x}{x_{up}} = \frac{y}{y_{up}} = \frac{z}{z_{up}} \quad (53)$$

【0134】直線

【0135】

【数42】

【数43】

6187号と同様の以下の手順により行われる。

【0140】補正処理開始時、投影面獲得手段 2 は、投影面の法線ベクトルを算出する。投影面の法線ベクトルは、投影面上の、少なくとも 3 点の位置を計測することによって求められる。

【0141】次に、投影面獲得手段 2 は、法線ベクトルから投影面の方位角と傾斜角を求める。プロジェクタ装置の光軸を Z 軸とし、上方を Y 軸とした座標系で、

(a, b, c) という法線ベクトルが求められた場合、方位角は $\tan^{-1}(b/a)$ として求められ、傾斜角は $\tan^{-1}(c/\sqrt{(a^2+b^2)})$ として求められる。

【0142】次に、投影面獲得手段2はプロジェクタ装置の光軸と投影面との交点を求めるこことによって、プロジェクタ中心から投影面の中心までの距離を算出する。

【0143】次に、映像補正手段3は傾き補正の処理を行う。図18および図19のそれぞれは、本発明によるプロジェクタ装置100の投影状態を、プロジェクタ装置の光軸とその投影面110の法線ベクトルを含む平面で切断した状態を示す断面図である。基準面112はプロジェクタ装置100から基準となる平面で、基準面112に投影されるような画像に修正されて、投影面110に画像が投影されるものとする。ここで、仮基準面111とは、基準面112に平行で、プロジェクタ光軸と投影面110との交点を通る平面と定義する。

【0144】まず、図18において、プロジェクタ装置100から基準面112までの距離をZ0、プロジェクタ装置100から仮基準面111までの距離をZ1とすると、基準面におけるy軸値L0が仮基準面111において同じくL0の位置に投影されるためには、元画像の該対応点のy軸値を $Z0/Z1$ 倍、つまり、 $y'' = y \cdot Z1/Z0$ とする必要がある。これは単純な拡大縮小計算であり、x軸値についても同様である。

【0145】さらに、図19において、仮基準面111におけるy軸値しが投影面110において同じくLの位置に投影されるためには、元画像の該対応点のy軸値を $\tan\phi/\tan\theta$ 倍、つまり、 $y'' = y \cdot \tan\phi/\tan\theta = y \cdot Z1 \cdot \cos\alpha / (Z1 + y \cdot \sin\alpha)$ とする必要がある。x軸値については、距離Z3の位置で元画像の長さが表示されなければならないので、 $x'' = Z1(Z1 + y \cdot \sin\alpha)$ となる。

【0146】以上が、本発明の第1の実施形態である。

【0147】つぎに、本発明の第1の実施形態の効果について説明する。本実施形態は、プロジェクタ・カメラの内部パラメータと相対位置を補正し、その値を利用して投影面の三次元形状を精度よく測定することができる、美しい補正映像を提示することが可能となる。

【0148】つぎに、本発明の第2の実施形態について図11を参照して説明する。本実施形態では、第1の実施形態における補正時に、パタン画像生成手段4が生成するパタンに空間コード化法を使用した場合について説明する。

【0149】第1の実施形態は映像出力手段1で投影する映像は点1個のみの場合について説明したが、これだと点1個あたり映像を1枚投影しなければならず、処理時間がかかるてしまう。

【0150】第2の実施形態では、パタン画像生成手段4が生成する1枚の映像の中に点を複数含むようにして、それぞれの計測点は投影される映像の組み合わせで区別するものとする。こうすることによって投影する映像の数を減らし、処理時間を短くすることができる。本実施形態の構成としては、図3に示すように、第1の実施形態の計測点検出手段81が、領域検出手段811と領域識別手段812と計測点位置検出手段813から構成されている。

【0151】図11ではパタン画像生成手段4の生成するパタンについてパタン1～4の4つの例を示している。図11では全点の個数が15個の場合について示している。このとき、必要なパタンの数は4枚でよい。図11の右側にそれぞれのパタンで投影する点を示した。黒く塗りつぶした点が投影する点、それ以外が投影しない点である。このように点を投影する場合、各点と投影するパタンの関係は以下に示す表のようになる。

【0152】

【表1】

	パタン1	パタン2	パタン3	パタン4
点1	○	○	○	○
点2		○	○	○
点3	○		○	○
点4			○	○
点5	○	○		○
点6		○		○
点7	○			○
点8				○
点9	○	○	○	
点10		○	○	
点11	○		○	
点12			○	
点13	○	○		
点14		○		
点15	○			

【0153】このとき、例えば点3を検出する場合には、パタン1、パタン3、パタン4で投影され、パタン2で投影されなかった点をさがせばよい。

【0154】なお、このような手法をとる場合、投影するパタンには以下の3つの条件がありたつ。

①投影する点の総数がN個の場合に必要なパタンの数は

$\log_2(N+1)$ である。

②それぞれのパタンで投影する点の個数は

【0155】

【数44】

$$\frac{N+1}{2}$$

【0156】である。

③作成するパタンのうち2つの組み合わせを任意に選ぶと、選ばれた2つのパタンの両方において投影される点の個数は

【0157】

【数45】

$$\frac{N+1}{4}$$

【0158】である。

【0159】カメラ2は、映像出力手段1がそれぞれの映像を投影しているときの投影面を撮影し、それぞれ別なカメラ画像として取得する。計測点検出手段81の詳細な動作は以下の通りである。

【0160】まず、領域検出手段811は、各カメラ画像に対して投影された点の領域を検出する。この検出方法は、投影する前と後とのカメラ画像の差分をとる方法や、投影する点の色を投影面上のすべての色と識別できるようにした上で色により検出する手法などがある。

【0161】領域識別手段812は、領域検出手段811が検出した各領域に対して、どの映像を投影したときに検出されたかを利用して領域の識別を行う。例えば、図11のような4つのパタンを投影する場合では、パタン1、パタン3、パタン4を投影して検出され、パタン2を投影して検出されなかった点の領域を点3に対応すると考える訳である。これは、パタン1、パタン3、パタン4を投影したときに検出された領域とパタン2を投影したときに検出されなかった領域との積をとることによって実現できる。

【0162】計測点位置検出手段813は、識別された各領域の重心点をカメラ画像中の計測点Rとして検出する。

【0163】以上が計測点検出手段81の動作である。

【0164】計測点空間位置算出手段84以降の動作は、第1の実施形態と同じである。

【0165】以上が本発明の第2の実施形態である。

【0166】つぎに、本発明の第2の実施形態の効果について説明する。本実施形態は、第1の実施形態の効果に加えて、以下に述べる特有の効果も有する。

【0167】本実施形態は、複数の点を含む映像を複数投影し、空間コード化法により識別するため、投影する映像の数を少なくすることができる。したがって、第1の実施形態に比べて処理時間を短くすることができる。

【0168】つぎに、本発明の第3の実施形態について詳細に説明する。本実施形態は、第1、第2の実施形態における計測点検出手段81の計測点検出動作に特徴を有するものであり、以下に図12を参照して詳細に説明する。

【0169】第3の実施形態の計測点検出手段81によって計測点を検出する場合、一般に図12(a)に示されるように計測点のみを検出できる訳ではない。例えば格子模様のような投影面を使用した場合、投影面に黒っぽい反射の少ない領域(検出不能領域)が存在するため、図12(b)に示されるように計測点が検出不能領域に隠れて検出できなかったり、図12(c)に示されるように計測点が検出不能領域の一部に入ってしまうことによって計測点の一部の領域が欠けてしまう。

【0170】本実施形態では、上記のような状況下でも計測点を正確に検出するための手法である。図4および図5のそれぞれは、本実施形態における計測点検出手段81の構成を示すブロック図である。ここで、図4は第1の実施形態に対応させた構成を示し、図5は第2の実施形態に対応させた構成を示す図である。

【0171】まず、図4に示す計測点検出手段81の場合について説明する。パタン画像生成手段4、映像出力手段6、カメラ7の動作は、第1の実施形態と全く同じである。

【0172】図4に示す計測点検出手段81の詳細な動作は以下の通りである。

【0173】領域検出手段811は、カメラ画像中の投影された領域を検出する(図13左から2番目の図)。ここでは、点を投影する前と後とのカメラ画像の差分をとる方法を利用した場合について図示した。

【0174】検出不能領域記憶手段815は、映像出力手段6で映像を投影しても投影面の色などの影響でカメラ画像によってその映像を検出できない領域(検出不能領域)について、それをあらかじめ記憶している。

【0175】領域判定手段814は、領域検出手段811により検出する領域が検出不能領域記憶手段815に記憶されている検出不能領域にかかるおらず、計測点を投影した領域全体を検出しているかどうかを判定する。この処理の内容は図14に示すフローチャートのように動作する。まず、ラベリングなどを用いて領域が1つだけ存在しているかをチェックする(ステップA1)。

【0176】領域が2つ以上存在する場合、あるいは存在しない場合には、映像出力手段1に別な映像を投影させる。領域が1つしかない場合は、その領域に対して領域拡大処理をかける(図13における図面左から3番目の図)(ステップA2)。この領域拡大処理は境界を1画素膨張させる程度の処理で十分である。

【0177】つぎに、領域拡大をした画像と検出不能領域記憶手段815に記憶されている2値画像との積をと

る（ステップA3）。ここで、計測点が検出不能領域に隣接してない場合は、ステップA3にて積をとった画像には何も存在しない（図13における図面右上の図）。しかし、計測点が検出不能領域に隣接している、あるいは計測点の一部が検出不能領域内に存在する場合には、積をとった画像に双方共有する領域が存在する（図13における図面右下の図）。そこで、積をとった画像に対して何か領域が存在しているかを調べ（ステップA4）、何も存在していないければその領域に対して計測点位置検出手段813の処理を行う。そうでなければ、映像出力手段6から別の映像を投影させる。

【0178】計測点位置検出手段813は、領域判定手段814により計測点を投影した領域全体を検出していると判定されたものについて、その領域の重心位置などカメラ画像中の計測点の位置を検出する。

【0179】つぎに、図5に示す計測点検出手段81の場合について説明する。バタン画像生成手段4、映像出力手段6、カメラ7は、第2の実施形態と全く同じである。

【0180】計測点検出手段81の詳細な動作は以下の通りである。

【0181】まず、領域検出手段811は、各カメラ画像に対して投影された点の領域を検出する（図15における左上から2番目の図）。ここでは、点を投影する前と後とのカメラ画像の差分をとる方法を利用した場合について図示した。

【0182】領域識別手段812は、領域検出手段811が検出した各領域に対して、どの映像を投影したときに検出されたかを利用して領域の識別を行う（図15における左上から3番目の図）。この手法は、第3の実施形態と全く同じである。

【0183】検出不能領域記憶手段815は、映像出力手段で映像を投影しても投影面の色などの影響でカメラ画像によってその映像を検出できない領域（検出不能領域）について、それをあらかじめ記憶している。

【0184】領域判定手段814は、領域識別手段812により識別された領域それぞれについて、検出不能領域記憶手段815に記憶されている検出不能領域にかかっておらず、計測点を投影した領域全体を検出しているかどうかを判定し、そうでない領域を除去する。図16はこのような処理動作を示すフローチャートであり、以下に図16を参照して図5に示す計測点検出手段81の動作について説明する。

【0185】まず、領域識別手段812によって何らかの領域が検出されているかどうかをチェックする（ステップB1）。領域が検出されていない場合には、映像出力手段6に別な映像を投影させる。何らかの領域が検出されると、各領域に対して領域拡大処理を行う（図15における左下の図）（ステップB2）。この領域拡大処理は、境界を1画素膨張させる程度の処理で十分であ

る。

【0186】つぎに、領域拡大をした画像と検出不能領域記憶手段815に記憶されている2値画像との積をとる（ステップB3）。最後に、積をとった画像に残っている領域のラベルを調べ、そのラベルの領域を除去する（図15における左下から2番目の図）（ステップB4）。

【0187】計測点位置検出手段813は、領域判定手段814により計測点を投影した領域全体を検出していると判定された領域のそれぞれについて、各領域の重心位置などカメラ画像中の計測点の位置を検出する。

【0188】以上が計測点検出手段81の動作である。

【0189】計測点空間位置算出手段84以降の動作は第2の実施形態と同じである。

【0190】以上が本発明の第3の実施形態である。

【0191】つぎに、本発明の第3の実施形態の効果について説明する。本実施形態は、第1、第2の実施形態の効果に加えて、以下に述べる特有の効果も有する。

【0192】本実施形態は、図12(b)のように計測点が検出不能領域に隠れて検出されなかったり、図12(c)のように計測点が検出不能領域の一部に欠けてしまったりする場合を除外し、図12(a)のように計測点のみを検出した場合に限って計測点の位置推定を行う手法を提供する。これにより、投影面の色などを固定しなくてもプロジェクタパラメータの推定が可能となる。

【0193】

【発明の効果】第1の効果は、任意の三次元形状をした投影面に対し美しい補正映像を提示するプロジェクタを実現することが可能となる。

【0194】その理由は、プロジェクタ・カメラの内部パラメータと相対位置を補正し、その値を利用して投影面の三次元形状を精度よく測定することができるためである。

【0195】第2の効果は、上記のキャリブレーションを高速に行なうプロジェクタを実現できることにある。

【0196】その理由は、空間コード化法により多数の点を高速に識別する手法を実現するためである。

【0197】第3の効果は、投影面に一部黒っぽい反射の少ない領域（検出不能領域）があっても、キャリブレーションできるプロジェクタを実現できることにある。

【0198】その理由は、検出不能領域にプロジェクタが計測点を投影した場合を認識し、そのときの情報をキャリブレーションに使用しないようにするためである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施形態のキャリブレーション手段の構成を示すブロック図である。

【図3】本発明の第2の実施形態の計測点検出手段の構成を示すブロック図である。

【図4】本発明の第3の実施形態の計測点検出手段の構成を示すブロック図である。

【図5】本発明の第3の実施形態の計測点検出手段の構成を示すブロック図である。

【図6】本発明の全体構成を示すブロック図である。

【図7】カメラにおける座標定義を行った図である。

【図8】プロジェクタにおける座標定義を行った図である。

【図9】本発明のキャリブレーションにおける全体構成を示す図である。

【図10】本発明の第1の実施形態に関するカメラ内部パラメータ、投影面の式の算出方法の参考図である。

【図11】本発明の第2の実施形態に関するパタン画像生成手段4で生成するパタンの説明図である。

【図12】本発明の計測点検出手段81で問題となる例を示した図である。

【図13】本発明の第3の実施形態に関する計測点検出手段81の内容を説明する図である。

【図14】本発明の第3の実施形態に関する領域判定手段814のフローチャートである。

【図15】本発明の第3の実施形態に関する計測点検出手段81の内容を説明する図である。

【図16】本発明の第3の実施形態に関する領域判定手段814のフローチャートである。

【図17】従来手法のブロック図である。

【図18】映像補正手段3における傾き補正の処理を説

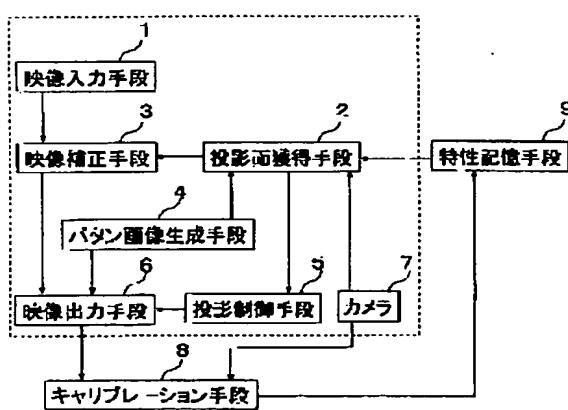
明するための図であり、本発明によるプロジェクタ装置100の投影状態を、プロジェクタ装置の光軸とその投影面109の法線ベクトルを含む平面で切断した状態を示す断面図である。

【図19】映像補正手段3における傾き補正の処理を説明するための図であり、本発明によるプロジェクタ装置100の投影状態を、プロジェクタ装置の光軸とその投影面109の法線ベクトルを含む平面で切断した状態を示す断面図である。

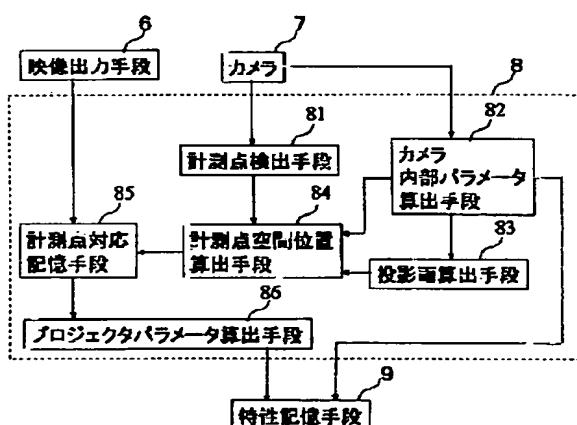
【符号の説明】

- 1 映像入力手段
- 2 投影面獲得手段
- 3 映像補正手段
- 4 パタン画像生成手段
- 5 投影制御手段
- 6 映像出力手段
- 7 カメラ
- 8 キャリブレーション手段
- 81 計測点検出手段
- 82 カメラ内部パラメータ算出手段
- 83 投影面算出手段
- 84 計測点空間位置算出手段
- 85 計測点対応記憶手段
- 86 プロジェクタパラメータ算出手段
- 9 特性記憶手段

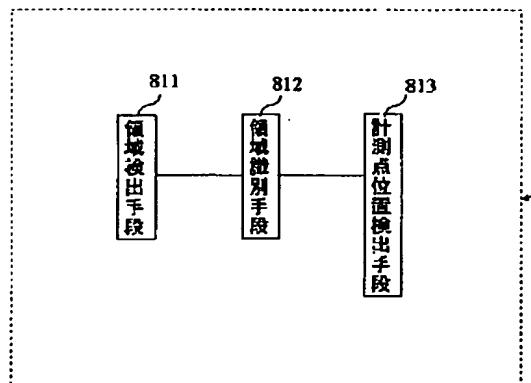
【図1】



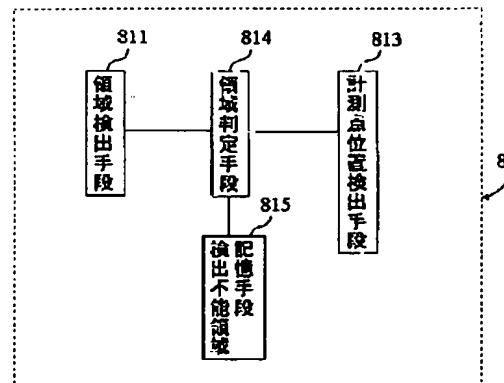
【図2】



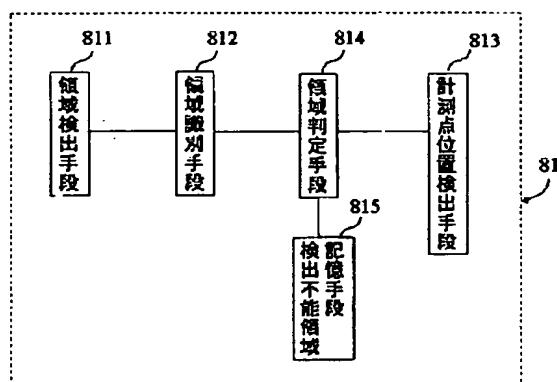
【図3】



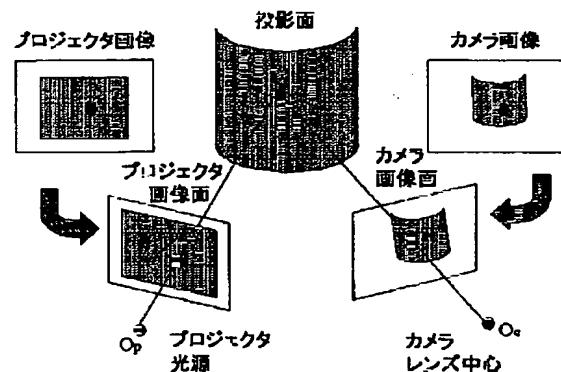
【図4】



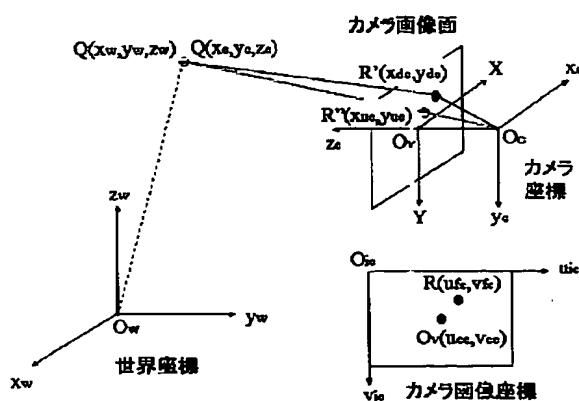
【図5】



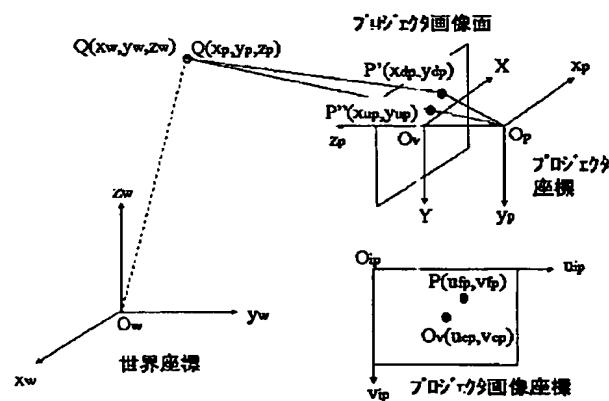
【図6】



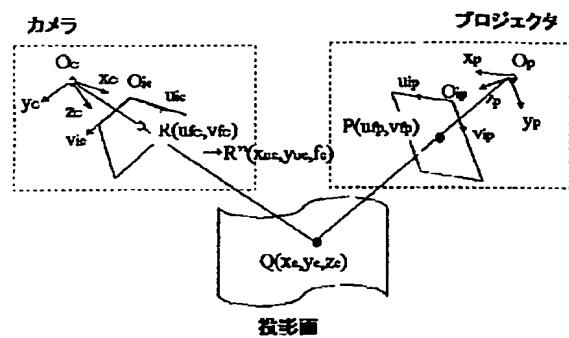
【図7】



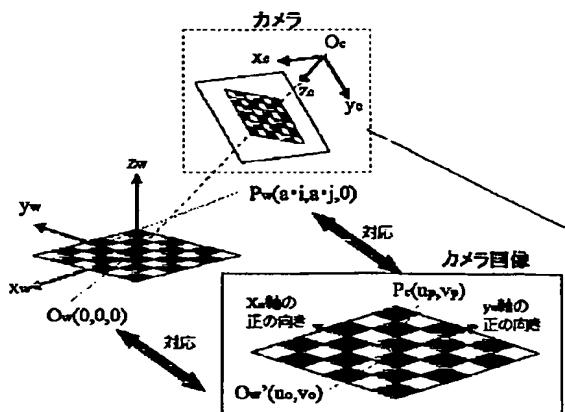
【図8】



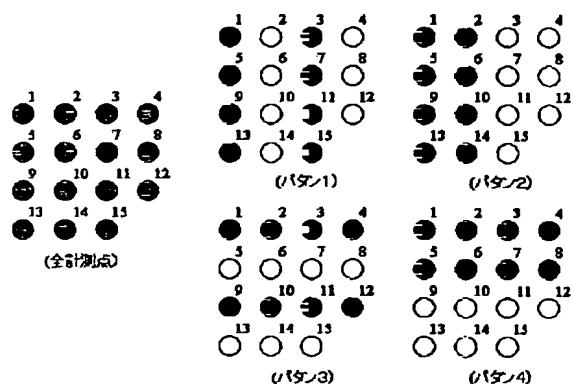
【図9】



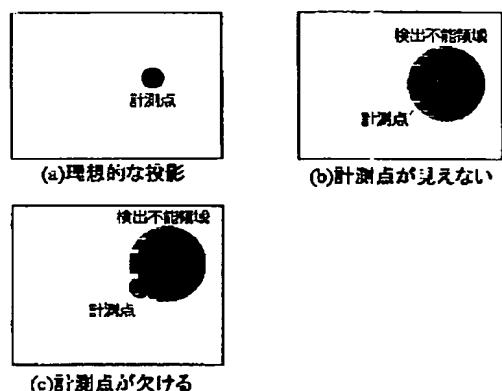
【図10】



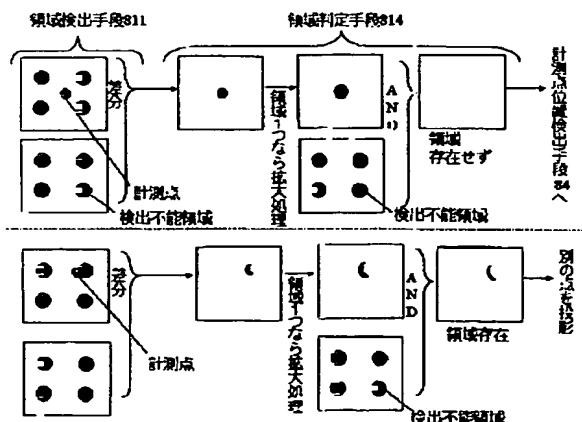
【図11】



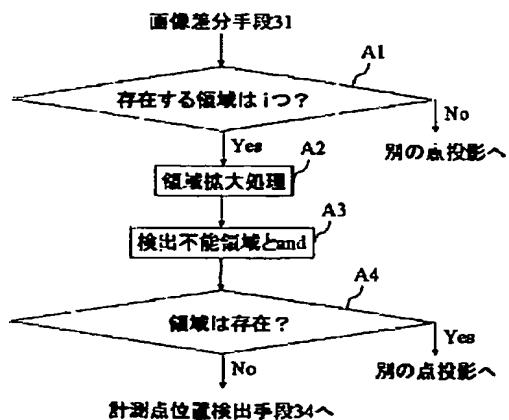
【図12】



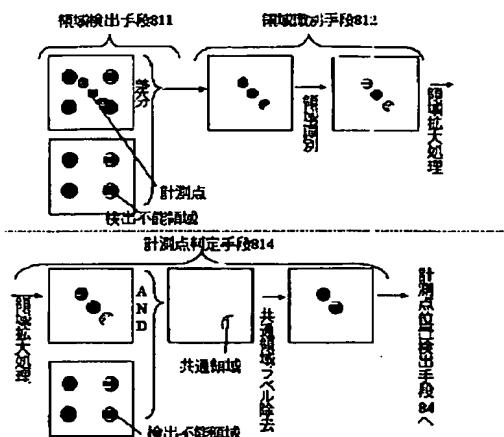
【図13】



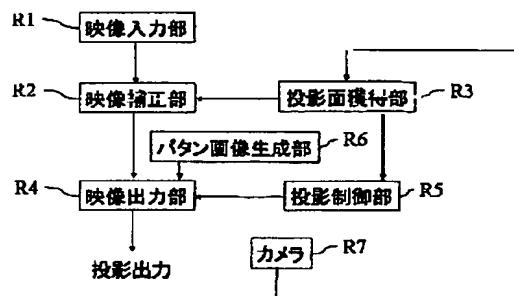
【図14】



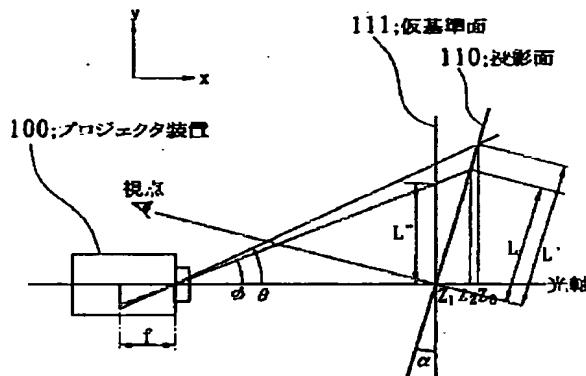
【図15】



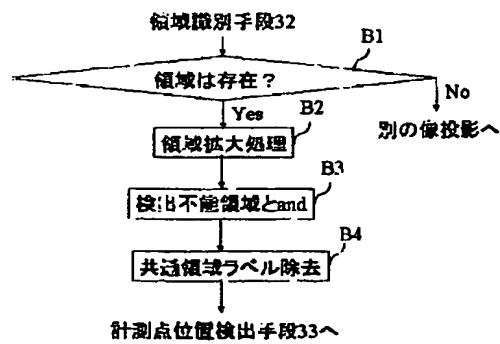
〔図17〕



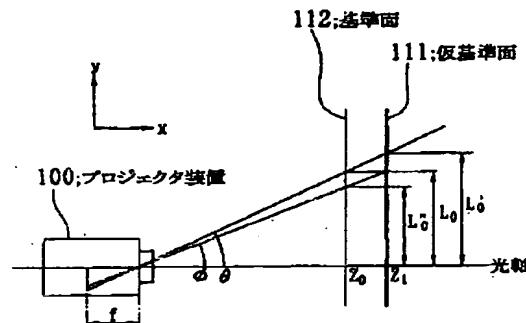
【図19】



【图16】



【図18】



0.64m 1.0m 1.4m

This Page Blank (uspto)